

момеханическая форсунка с трёхканальным центробежным распылителем поочередно была установлена в три положения с поворотом по часовой стрелке вокруг оси факела на угол $\varphi_2 = 90^\circ$ и $\varphi_3 = 180^\circ$ относительно исходного положения - $\varphi_1 = 0^\circ$. Результаты следующие:

- поля осевой скорости капель, относительно положения $\varphi_1 = 0^\circ$, повернулись на углы $\varphi_2 = 90^\circ$ и $\varphi_3 = 180^\circ$ и имели высокий уровень сходства;

- поля плотности потока капель получились в большом сходстве, но при этом наблюдаемая область с повышенными значениями плотности потока оказалась на том же самом месте. Т.е. эти поля не повернулись вслед за поворотом форсунок.

В работе также изучаются поля диаметров капель, количества капель в единицу времени и поля потоков массы капель; анализируется изменение средних диаметров капель (СДК) вдоль «кольца» - концентричной окружности, совпадающей с кольцевой линией максимумов плотности потока числа капель. В частности, показано, что СДК оказываются всегда наименьшими, а число зарегистрированных капель всегда наибольшим в передней области, находящейся на «кольце» (рис. 2в) между осями оптических голо-

вок, и, наоборот, СДК оказываются наибольшими, а число зарегистрированных капель наименьшим в диаметрально противоположной области – в точках, как выяснилось, с наибольшим оптическим экранированием полезного сигнала, который регистрируется ОГ-1. СДК в сходственных областях могут различаться в 2 раза. Эффект оптического экранирования полезного сигнала представлен количественно.

Результаты LDA-PDA измерений были использованы для подсчёта величин СДК, которые показал бы в этих же условиях принципиально другой лазерно-оптический измеритель, реализующий интегральный метод малоуглового дифракционного рассеяния (ИММР) лазерного излучения на сферических частицах.

Полученные результаты необходимо учитывать при аккуратном использовании других данных LDA-PDA измерений.

Специальными приёмами вторичной обработки удаётся улучшить общую достоверность результатов. Но для получения более убедительных результатов необходимо выполнить исследования на специальных калибровочных смесях сферических полидисперсных частиц с заранее известными их диаметрами и количеством.

УДК 621.452 (07)

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРДДФ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПО ДАННЫМ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

©2018 И.М. Горюнов, А.И. Надыршин

Уфимский государственный авиационный технический университет

ASSESSMENT THE CHANGE OF TURBOJET DUAL-CIRCUIT WITH AFTERBURNER COMBUSTION ENGINE PARAMETERS DURING OPERATION BY THE DATA OF BENCH TESTS

Gorjunov I.M. Nadyrshin A.I. (Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation)

The method of parametrical diagnostics of turbojet dual-circuit with afterburner combustion engine was compiled and implemented according to the data of bench tests. The object of research is AL-3 IF the aircraft engine and the data of bench tests of one engine during its life cycle. The identification of the mathematical model of the engine in controlled modes has been performed, as a result of which the change in the characteristics of the nodes during the operation of the engine has been determined.

Возрастание сроков службы авиадвигателей, тенденция к переходу на эксплуатацию их по техническому состоянию, дальнейшее повышение надёжности обуславли-

вают разносторонние исследования средств и методов диагностирования авиационных двигателей.

Одно из перспективных направлений таких исследований связано с использованием диагностической информации, носителем которой являются измеряемые термодинамические параметры двигателей. Поиски в этом направлении основываются на современных достижениях в области математического моделирования процессов газотурбинных двигателей, а также широкого использования ЭВМ при проектировании, испытании и эксплуатации авиационной техники.

В настоящее время по самолётным параметрам невозможно идентифицировать математическую модель двигателя. Однако есть стремление создать математическую модель двигателя, которая сопровождала бы двигатель в процессе эксплуатации и позволила бы оценить параметры и техническое состояние проточной части. Одним из вариантов решения этой задачи является создание индивидуальной математической модели и оценка по данной модели изменения состояния двигателя в процессе эксплуатации по данным стендовых испытаний после изготовления, после эксплуатации, до и после межресурсного и капитального ремонтов. В результате, по этим данным можно целенаправленно разрабатывать план по ремонту конкретного узла.

Данная работа является частью исследования оценки состояния параметров ТРДДФ в процессе эксплуатации по данным стендовых испытаний.

В рамках этого исследования сформирована и реализована методика параметрической диагностики ТРДДФ по данным стендовых испытаний.

Данный метод позволяет оценить состояние проточной части двигателя и заранее предупредить возможные повреждения.

Для реализации метода параметрической диагностики ТРДДФ по данным стендовых испытаний принят авиационный двигатель АЛ-31Ф. Расчётная математическая модель двигателя спроектирована в среде программного комплекса DVIGwT. Для построения расчётной математической модели исследуемого двигателя получены данные со стендовых испытаний одного двигателя в течение всего его жизненного цикла (от изготовления и межресурсных ремонтов до ка-

питального ремонта), а также данные по дефектам и повреждениям, обнаруженным при ремонтах. После построения расчётных математических моделей на различных режимах, проводилась идентификация математических моделей согласно данным стендовых испытаний на основных режимах работы двигателя. В результате получены значения параметров, характеризующие эффективность узлов двигателя, по которым можно оценить состояние двигателя.

Так по результатам идентификации математической модели на режиме «Максимальный» перед 300 часовым ремонтом выяснилось, что коэффициент полного давления входного устройства понизился на 1,01 %, КПД КНД снизился на 2,3 %, КПД КВД снизился на 2,304 %, степень повышения давления КНД снизилась на 2,1 %, степень повышения давления КВД уменьшилась на 0,7 %, коэффициент избытка воздуха в камере сгорания снизился на 0,4 %, КПД ТНД снизился на 2,19 %, КПД ТВД снизился на 1,15 %, коэффициент скорости сопла снизился на 0,9 %. В связи с изменениями вышеуказанных контролируемых характеристик двигателя, тяга изделия уменьшилась на 2,02 %, при этом удельный расход топлива вырос на 2,3 %. После проведения межресурсного ремонта по результатам идентификации математической модели двигателя значения параметров получились следующие: коэффициент полного давления входного устройства повысился на 0,8 %, КПД КНД увеличился на 2,37 %, КПД КВД увеличился на 2,56 %, степень повышения давления КНД повысилась на 2,02 %, степень повышения давления КВД повысилась на 0,9 %, коэффициент избытка воздуха в камере сгорания увеличился на 0,83 %, КПД ТНД увеличился на 2,63 %, КПД ТВД увеличился на 1,15 %, коэффициент скорости сопла повысился на 1,2 %. В связи с изменениями вышеуказанных контролируемых характеристик двигателя, тяга изделия выросла на 2,62 %, а удельный расход топлива уменьшился на 1,99 %.

По результатам идентификации математической модели на режиме «Максимальный» перед 600 часовым ремонтом выяснилось, что коэффициент полного давления входного устройства понизился на 1,2 %, КПД КНД

снизился на 3,5 %, КПД КВД снизился на 3,7 %, степень повышения давления КНД уменьшилась на 2,8 %, степень повышения давления КВД уменьшилась на 1,2 %, коэффициент избытка воздуха в камере сгорания снизился на 1,54 %, КПД ТНД снизился на 2,94 %, КПД ТВД снизился на 2,3 %, коэффициент скорости сопла снизился на 1,31 %. В связи с изменениями вышеуказанных контролируемых характеристик двигателя, тяга изделия уменьшилась 2,4 %, при этом удельный расход топлива вырос на 2,73 %. После проведения межресурсного ремонта по результатам идентификации математической модели двигателя значения параметров получились следующие: коэффициент полного давления входного устройства повысился на 1,414 %, КПД КНД увеличился на 4,13 %, КПД КВД увеличился на 3,43 %, степень по-

вышения давления КНД повысилась на 2,69 %, степень повышения давления КВД увеличилась на 1,36%, коэффициент избытка воздуха в камере сгорания увеличился на 0,84 %, КПД ТНД увеличился на 3,3 %, КПД ТВД увеличился на 2,3 %, коэффициент скорости сопла повысился на 1,31 %. В связи с изменениями вышеуказанных контролируемых характеристик двигателя, тяга изделия выросла на 2,53%, а удельный расход топлива уменьшился на 2,84%.

По результатам проведённых исследований сделан вывод, что с использованием метода параметрической диагностики ТРДДФ по данным стендовых испытаний можно оценить изменение характеристик узлов и тем самым состояние проточной части двигателя и сделать предположение о возможных повреждениях.

УДК 629.7.036.54

ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В СОПРЯЖЁННЫХ ЗАДАЧАХ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛОВОГО И НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖРДМТ

©2018 Н.В. Безменова

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

OBJECT-ORIENTED APPROACH IN THE CONJUGATE PROBLEMS OF THE NONSTATIONARY THERMAL AND STRESSED-STRAINED STATE OF SMALL-THRUST ROCKET ENGINES

Bezmenova N.V. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The author shows the necessity of object-oriented approach for numerical simulation of the nonstationary thermal and stressed-strained state of small-thrust rocket engines, taking into account the features of the work processes.

В настоящее время постоянное увеличивается число запусков космических аппаратов, расширяется сфера их использования, в связи с чем возрастают и требования по эффективности и надёжности к ракетным двигателям, в том числе и к жидкостным ракетным двигателям малый тяг (ЖРДМТ). Таким образом, разработка численных методов исследования и повышения эффективности и надёжности ЖРДМТ является на сегодняшний день актуальной проблемой. [1 - 9].

Основной сложностью при разработке численных моделей рабочих процессов в ЖРДМТ является их сопряжённый характер. Модели должны включать в себя все основ-

ных рабочие процессы, напрямую влияющие на эффективность и надёжность ЖРДМТ, такие как процессы подачи, распыления, испарения и смешения компонентов топлива, процессы неравновесных химических реакций и тепловыделения в камере сгорания и сопле, процессы течения в соплах и струях ЖРДМТ, процессы переноса тепла от рабочего тела к элементам конструкции ЖРДМТ, процессы теплообмена в элементах конструкции, процессы охлаждения, а также деформации элементов конструкции ЖРДМТ под воздействием силовых и тепловых нагрузок от рабочего тела. Кроме того, рабочие процессы в ЖРДМТ имеют ряд существен-